

2006年11月29, 30, 12月1日

CTC06-I-043

路面の雪氷性状と路面すべり摩擦係数の研究—シャーベット路面の危険性評価—

渡 邊 洋 (福井大学工学部)  
藤 本 明 宏 (福井大学大学院)  
堀 原 輝 幸 (福井大学工学部)

Study on the relationship between snow/ice properties and sliding friction coefficient on a road surface

—Evaluation of the danger on slushy road surface—

H. Watanabe (University of Fukui)  
A. Fujimoto (University of Fukui)  
T. Fukuhara (University of Fukui)

COLD  
REGION  
TECHNOLOGY  
CONFERENCE 2006

1. はじめに

冬期の路面性状は地形や気象などの自然的影響に加えて、凍結防止剤の散布、車両通過などの人為的影響によって、多様に変化する。ここで最も重要な点は、南北に長い日本列島(緯度の差)に起因して、それぞれの地域で生じる冬期道路の問題には違いがある。例えば、凍結路面ひとつをとっても、近畿では「夜間の路面凍結」に対して、注意喚起することに対して、東北以北では日射の影響で「氷面が融解する昼間」に注意を呼びかけることもある。

図-1に2000年の北陸自動車道における冬タイヤ装着率<sup>1)</sup>と福井県大良地先(敦賀-越前市の山間部)における積雪深の経時変化を示す。初冬12月における冬タイヤ装着率は約70%である。しかしながら、初冬の降雪後は約90%に達し、まとまった降雪を経験した後は概ね100%に至る。非積雪地域と隣接する福井県では、初冬および晩冬における冬タイヤの低装着率に起因した交通障害(事故や登坂不能に依る立ち往生など)が依然として多いものの、12月下旬~2月下旬にあつては、概ね冬タイヤを前提とした路面対策が妥当であると考えられる。

図-2に1999年に新潟県妙高市で実施した冬期路面の出現調査結果を示す。同図は路面状態の変化を2ヶ月間に亘り、分析した結果であり、シャーベット(おろし状の雪)に関係する路面が全体の約55%(同図の丸点線で囲んだ数値の総

和)に及ぶことを示している。シャーベット路面は気温や路面温度が氷点付近を推移する際に出現する雪氷路面であり、北海道などでは主に初冬および晩冬に、北陸以西では冬期

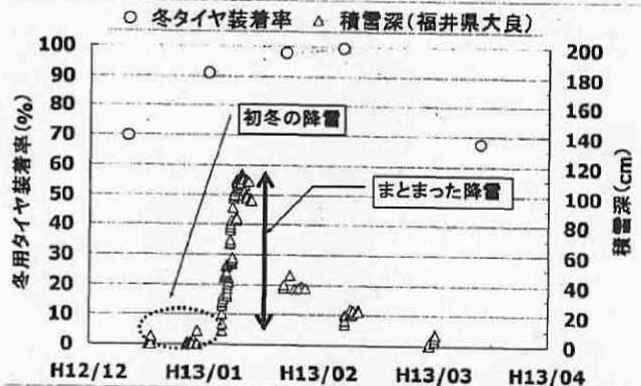


図-1 北陸自動車道における冬タイヤ装着率(2000年)

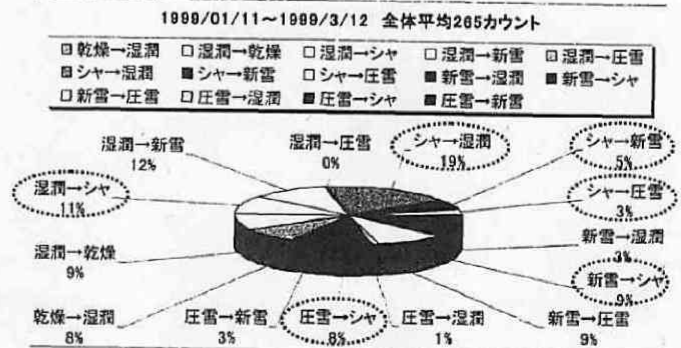
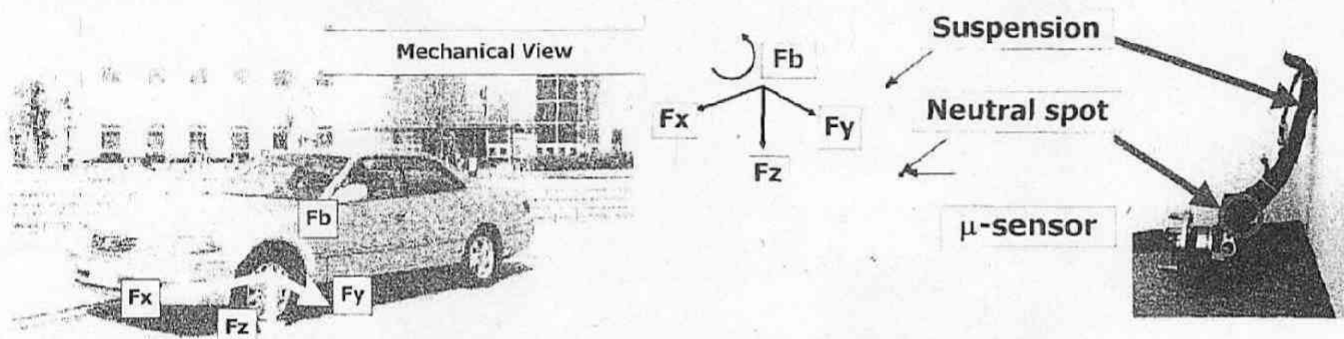


図-2 新潟県妙高市における冬期路面出現調査<sup>2)</sup>

表-1 MASS 車の仕様

測定車仕様諸元		すべり抵抗測定装置の諸元	
全長	4.7(m)	形式	MASS※(懸架装置埋め込み型)
全幅	1.8(m)	測定種類	任意制動時の縦すべりおよび横すべり
全高	1.5(m)	検出方法	高精度 4 軸方向 $\mu$ センサー
重量	1.7(ton)		※Multi-Axial Sensing System

図-3 MASS 車と  $\mu$  センサーによる計測メカニズムの概要

を通して出現頻度が高い。特に、山間部で河川水を道路に散水し、消融雪を実施している近畿地方では、よく観察される。ここで、シャーベット路面は水および氷の混合物(時には空気も含む)であり、この雪氷物性の変化に伴って、路面のすべり易さは大きな影響を受ける。これまでの筆者らの調査<sup>3)</sup>では、路面のすべり易さがシャーベットの質量含水率、車両の走行速度およびシャーベットの厚さによって、変化することが分かっている。しかしながら、依然としてシャーベットの雪氷物性と路面のすべり摩擦係数  $\mu$  を関連付けたデータは充分ではなく、またこのような試みも極めて少ない。その要因として、路面の  $\mu$  を短時間に測定できるような技術が未成熟であったことが挙げられる。

現在、日本における  $\mu$  計測は大型バス(路面すべり測定車、以下、BUS 車と呼称)が主流である。しかしながら、筆者らの研究によれば、BUS 車による  $\mu$  は見かけ上同じ雪氷路面であるにもかかわらず、道路勾配によって異なる値を示すことが分った<sup>4)</sup>。世界的にも  $\mu$  計測技術は十分に確立されておらず、容易で精度の高い技術開発が要求されている。

そこで、本研究では  $\mu$  センサー(MASS: Multi-Axial Sensing System)を搭載した高精度動的試験車(以下、MASS 車と呼称、日本電子工業製<sup>4)</sup>)を用いた野外試験から、シャーベットの雪氷性状(質量含水率・厚さ)と路面の  $\mu$  の関係を、さらに詳しく調べたので、報告する。

## 2. MASS 車の概要

図-3 に MASS 車の概観および MASS 車に搭載されたサスペンション埋め込み型の高精度 4 軸方向  $\mu$  センサーの概要を、それぞれ示す。また、表-1 には MASS 車に関する諸元を示した。図-3 より、本装置では独自に開発したニュートラルスポット・センシング技術<sup>5)</sup>により、走行および制動中に生じる懸架装置の内部応力を 0.1msec のサンプリング間隔で抽出する。また、計測される負荷加重は車両進行方向摩擦力( $F_x$ )、車両水平方向摩擦力( $F_y$ )、車両垂直方向力( $F_z$ )、車両軸回転方向の力( $F_b$ :制動力)の 4 種類であり、これらの値から路面の縦横断方向の  $\mu$  を計測する。なお、前報<sup>4)</sup>のとおり、MASS 車は約 0.1msec(本試験で用いた BUS 車のサンプリング間隔は 10msec)の極めて短いサンプリング能力によって、これまで不感域とされていた路面  $\mu$  の最大値  $\mu_{MAX}$  の検知が可能となった。さらに、この高精度なブレーキ・アクチュエーター制御は減速することなく、 $\mu$  計測ができる。よって、加速度計を用いた  $\mu$  計測に要求されるような、急制動は必要としない。さらに、 $\mu$  センサーを各サスペンションに内蔵すれば、4 輪の  $\mu$  が計測できる。なお、本試験ではブリヂストン社製のスタッドレスタイヤを用いた。

## 3. 走行試験の概要

図-4 に 2005 年 1 月 24 日～2005 年 1 月 26 日に福井県あわら市で実施した MASS 車による  $\mu$  試験の概要を示す。試

表-2 MASS 試験における観測項目の一覧

観測種別	観測項目	測定位置	使用機器	メーカー、その他	データ収集方法
定点観測	雪氷厚さ	3点×4箇所	ノギス		MASS車の通過前と通過後
	雪氷温度	1点×4箇所	サーミスタ温度計	佐藤計量測量	〃
	雪氷密度	〃	円管サンプラー		〃
	含氷率	〃	含氷率計	福井大学作成	〃
μ計測	μ	2点×両輪	MASS車	日本電子工業	定常走行中μ計測手法

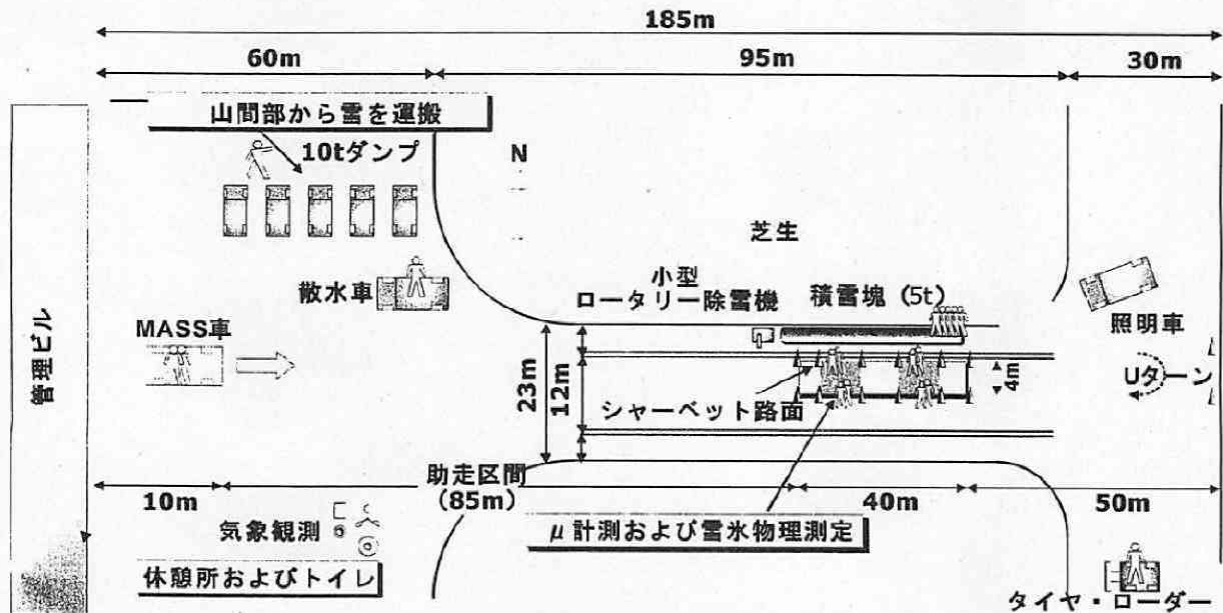


図-4 道路表層における熱収支の概要図

験路線は約 200m の水平な直線路である。あいにく、試験時のあわら市内には十分な雪量が無く、勝山市郊外から比較的新雪に近い積雪をダンプトラック(5 台分)で運搬した。運搬した雪はタイヤローダーやロータリー除雪車を用いて試験路に投雪し、その後は散水車で散水を行いながら、人力で均一なシャーベット路面を作成した。なお、本試験では、シャーベット厚さ( $H_s$ : 約 5~20mm 程度)と質量含水率( $\theta_{ice}$ : 0~80%程度)を変化させながら、μ 計測を繰り返した(写真-1 および写真-2 を参照)。その際には雪氷物性値の測定も行った(表-2 を参照)。

#### 4. 試験結果

##### 4.1 質量含水率とすべり摩擦係数

図-5 に走行速度 30km/h における質量含水率  $\theta_{ice}$  とすべり摩擦  $\mu$  の関係を示す。 $\theta_{ice}$  の増加に伴って、 $\mu$  は低下する傾向にある。これは、 $\theta_{ice}$  が増加すると、氷成分が路面とタイヤの接触を阻害して、両者の接触面積が減少することに起因する。なお、 $\theta_{ice}$  が 75% (シャーベットとは言い難く、積雪に近い状態) を超えると、路面の雪氷はタイヤの通過に伴い圧雪

化する。しかしながら、シャーベット厚さ 10mm 以下では、 $\theta_{ice}$  が 35% 以下にあれば、概ね湿潤路面と同程度の  $\mu$  を得る。

##### 4.2 質量含水率とシャーベット厚さ

図-6 に走行速度 30km/h における質量含水率  $\theta_{ice}$  とシャーベット厚さ  $H_s$  の関係を示す。なお、同図には参考値として  $\mu = 0.5$  を表す相関式 ( $H_s = -3.56 \ln(\theta_{ice}) + 21.69$ ) も併せて示しており、この相関式が表す実線の上方は、 $\mu$  が 0.5 よりも小さくなる領域を、一方実線の下方は、 $\mu$  が 0.5 以上となる領域を、それぞれ表現している。同図より、 $\mu$  は、 $\theta_{ice}$  が大きくなる程、また、 $H_s$  が厚くなるほど、路面は滑りやすくなる。しかしながら、 $\theta_{ice}$  が 100% であっても、凹凸の大きな圧雪路面などは、この限りではなく、さらに詳しい調査が必要であろう。

#### 5. おわりに

本論では時速 30km で走行する車両における路面のすべり摩擦係数  $\mu$  の特性について、シャーベット路面の質量含水率および雪氷厚さと  $\mu$  の関係を実験的に明らかにした。

得られた知見を以下に列挙する。

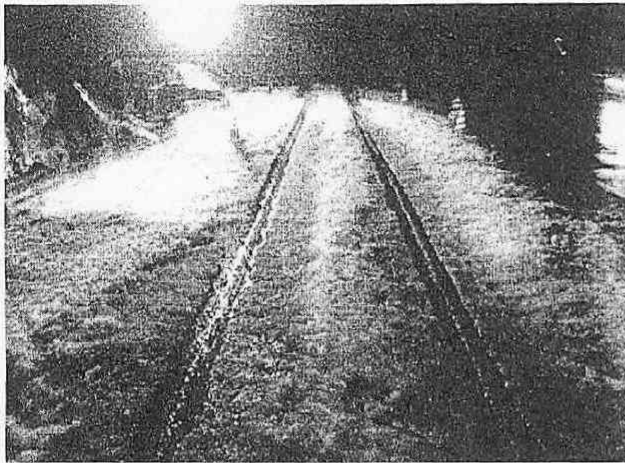


写真-1 人為的に作成した雪氷厚さ16mm、含水率55%のシャーベット路面(MASS車通過後)



写真-2 人為的に作成した雪氷厚さ9mm、含水率53.4%のシャーベット路面(MASS車通過後)

- 1) 質量含水率  $\theta_{ice}$  の増加に伴って、すべり摩擦係数  $\mu$  は低下する傾向にある
- 2) 10mm以下のシャーベット厚さで質量含水率  $\theta_{ice}$  が35%以下なら、すべり摩擦係数  $\mu$  は概ね湿潤路面に等しい
- 3) 質量含水率  $\theta_{ice}$  が大きくなる程、また、シャーベット層が厚くなる程、すべり摩擦係数  $\mu$  は小さくなる

今後は、データの充実と車両の走行速度に依存する路面のすべり摩擦係数の特性について、調査する。また、これらの成果は現在筆者らが進めている熱収支法による冬期路面の路面性状予測モデルの計算スキームに取り込んでいきたい。

#### 参考文献

- 1) 財団法人高速道路技術センター:平成13年度北陸支管内雪氷対策検討委員会報告書、財団法人高速道路技術センター、2002.3.

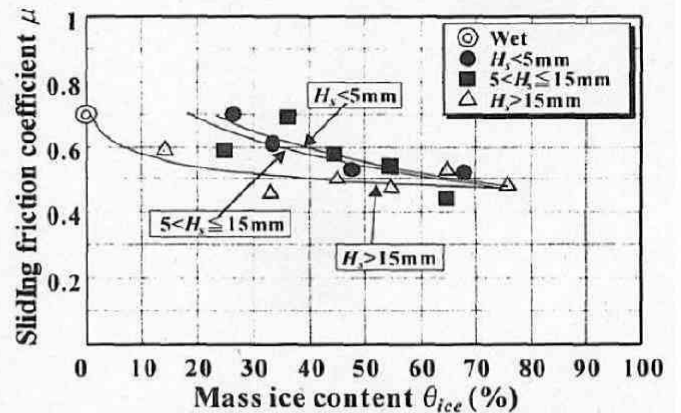


図-5 走行速度30km/hにおける質量含水率  $\theta_{ice}$  と路面のすべり摩擦係数  $\mu$  の関係

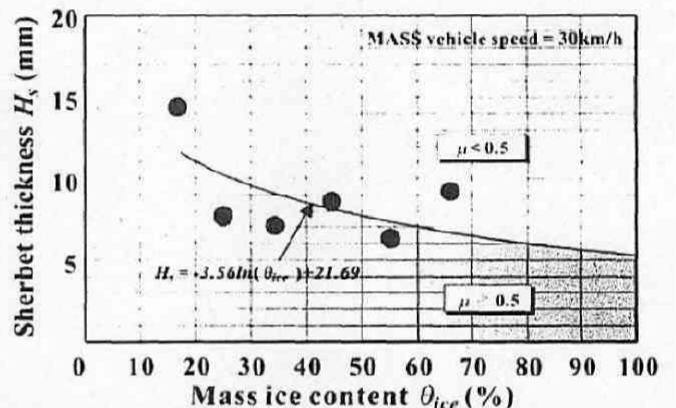


図-6 走行速度30km/hにおける質量含水率  $\theta_{ice}$  とシャーベット厚さ  $H_s$  の関係

- 2) 土木研究所新潟試験所:熱エネルギー収支に基づく路面状態予測モデルに関する研究報告書、土木研究所新潟試験所、2002.3.
- 3) 藤本明宏、渡邊洋、福原輝幸、武士俊也、小林一治、宮崎長尾、小川晶子、浅野基樹:MASS車によるすべり摩擦と道路雪氷との関係、日本雪工学会誌、日本雪工学会、Vol. 21, No. 5, pp. 26-35, 2005.10.
- 4) 安藤達弥・福原輝幸・横山孝男・渡邊洋・井良沢道也・林健一・荒川智之:冬期道路の路面凍結予測に関する研究—MASSセンサーを用いたすべり摩擦計測に関する検討—、第17回寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集、Vol. 17, pp. 191-196, 2001. 11.
- 5) Nagao Miyazaki, Shu Ueno, Hajime Tamaki, Ryoji Hironaka, Tomohiro Yamaguchi and Chunliang Li: Development of High-Quality Multi-Axial Sensing System (MASS) for Direct Measurement of 4 Directional Forces and Coefficient of Friction in Real Time, SAE 2001 World Congress, Detroit, Michigan, 2001.3.